

## **АННОТАЦИЯ**

диссертационной работы на тему:

### **«ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ УДАРОПРОЧНОСТИ УГЛЕПЛАСТИКА»**

представленной на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности

6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов»

**МЕЙІРБЕКОВА МОЃАММЕДА НУРҒАЗЫҰЛЫ**

**Цель диссертационной работы.** Повышение прочности и ударной вязкости углепластика путем модификации эпоксидной смолы с каучуками и комбинированного армирование углеродного волокна с арамидными и стекловолокнами.

#### **Задачи исследования:**

- разработать метод позволяющий повышать прочностные характеристики эпоксидной смолы;
- изучить методы формирования углепластика при модификации эпоксидной смолы с каучуками;
- провести исследование совместного действия, модифицированной эпоксидной смолы и комбинированного армирование на прочность и на ударную вязкость углепластика;
- изучить влияние основных факторов и параметров при изготовлении углепластиковых трубок.

#### **Методы исследования:**

К основным методам исследований, применяемых при выполнении диссертационной работы, относятся:

- для определения вязкости эпоксидных смол использован вискозиметр ВЗ-246 (АО «НЦКИТ»);
- исследования углов смачивания проводились на гониометре "Ossila" («КазНУ им. Аль-Фараби»);
- механические испытания образцов эпоксидных смол и углепластика на растяжение/сжатие проводились на испытательных машинах Instron, WDW-5E и Shimadzu. (КазНУ им. Аль-Фараби, ВКГУ им. С. Аманжоловой, АО "ИМиО", Институт проблем горения);
- испытание на ударную вязкость образцов эпоксидных смол и углепластика проводилось на маятниковом копре МК-30 (АО «НЦКИТ»).

**Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту:**

1. Разработанный метод модификации эпоксидных смол каучуками позволяет снизить кинематическую вязкость эпоксидной смолы марки ЭД-20 на 25% и увеличить ударную вязкость на 126% с незначительной потерей прочности на сжатие, для эпоксидной смолы Этал-Инжект-Т данный метод

позволяет снизить вязкость на 64%, и увеличить ударную вязкость на 67% при сохранении прочности на сжатие на уровне 105,7 МПа;

2. Применение эпоксидной смолы модифицированного 10% полиуретановым каучуком, в процессе ручного формования углепластика, приводит к повышению прочности на сжатие 16% и ударной вязкости на 12%, при формировании углепластика вакуумной инфузии позволяет повышать прочность на сжатие на 25% и ударной вязкости на 21%.

3. С использованием эпоксидной смолы модифицированным 10% полиуретановым каучуком и комбинированным армированием углеродной и арамидной тканей в соотношении 1:1 разработан метод повышающий прочность на сжатие до 35% и его ударную вязкость до 42%.

4. Выявлены значимые факторы и параметры, которые оказывают существенное влияние на процесс изготовления углепластиковых трубок с высокими показателями прочности на растяжение до 710 МПа, прочности на сжатие до 515 МПа и ударной вязкости до 201 кДж/м<sup>2</sup>.

### **Описание основных результатов исследования:**

– Исследовано влияние каучуков на кинематическую вязкость, угол смачивания, прочность на сжатие и ударную вязкость немодифицированных эпоксидных смол ЭД-20 и Этал-Инжект-Т. Наилучшие результаты получены при модификации эпоксидной смолы 10% полиуретановым каучуком: вязкость эпоксидной смолы ЭД-20 составила 95 сСт (снижение на 25%), угол смачивания правые и левые углы составили 49°, ударная вязкость увеличилась на 45,4 кДж/м<sup>2</sup> (на 126%) и с незначительной потерей прочности на сжатие; вязкость эпоксидной смолы Этал-Инжект-Т составила 56 сСт (снижение на 64%), угол смачивания правые и левые углы составили 40°, ударная вязкость 70,8 кДж/м<sup>2</sup> (на 67%) и при сохранении прочности на сжатие на уровне 105,7 МПа;

– Изучено влияние эпоксидной смолы модифицированной каучуками и методы формования на прочностные свойства углепластиков. Ударная вязкость увеличилась с 192 кДж/м<sup>2</sup> до 215 кДж/м<sup>2</sup> (на 12%), повысилась прочность образцов углепластика, полученных методом ручного формования, с добавлением 10% полуретанового каучука, показавшего положительный результат на эпоксидную смолу. При вакуумной инфузии и при добавлении в эпоксидную смолу 10% полиуретанового каучука прочность углепластиков на сжатие увеличилась на 25%, ударная вязкость на 21%

– Исследовано влияние комбинированного армирования на прочностные свойства углепластиков. При комбинировании углеродной ткани с арамидной тканью в соотношении 1:1 прочность повысилась с 425 МПа до 458 МПа, ударная вязкость с 192 кДж/м<sup>2</sup> до 229 кДж/м<sup>2</sup>.

– Установлено, что введение полиуретанового каучука в состав эпоксидной смолы и комбинированное армирование углеродной ткани/арамидной ткани в массовом соотношении 1:1 приводит к повышению ударной вязкости углепластика с 192 кДж/м<sup>2</sup> до 273 кДж/м<sup>2</sup>, т. е. увеличено на 42%, а прочность на сжатие с 425 МПа до 575 МПа до, т. е. на 35%

– Выявлены показатели важных факторов и параметров при изготовлении углепластиковых трубок и повышении прочностных свойств: толщина углеродного ровинга 24К, время замачивания углеродного ровинга в эпоксидной ванне 9,5 с, сила натяжения углеродного ровинга 18,6 Н, угол намотки 60°, 10% полиуретанового каучука, при комбинированном армировании углеродного/арамидного ровинга в соотношении 1:1. Полученные с использованием всех наиболее оптимальных параметров: прочность на растяжение увеличена с 541 МПа до 710 МПа (31%), прочность на сжатие увеличилась с 325 МПа до 515 МПа (58%), ударная вязкость увеличилась с 158 кДж/м<sup>2</sup> до 201 кДж/м<sup>2</sup> (27%).

### **Обоснование новизны и важности полученных результатов:**

Впервые разработана технология модификация эпоксидных смол каучуками и комбинированного армирования с различными полимерными материалами, повышающая ударную вязкость углепластика с сохранением прочности на сжатие.

Предоставленная технология по получению ударопрочного углепластика, которая впервые позволяет получить углепластик с прочностью на сжатие/растяжение 515-710 МПа, ударной вязкостью 201-273 кДж/м<sup>2</sup>. Поскольку углепластик в этих показателях является углепластиком высшей категории и не публикуется в зарубежных изданиях, то это новое направление для Казахстана.

Предложен технический проект настольного лабораторного намоточного станка для изготовления углепластиковых трубок.

Результаты исследования обладают новизной и практической ценностью, значительно дополняют существующие представления о технологии получения углепластиков и могут быть использованы для решения аналогичных задач.

Диссертационная работа обладает высокой научной ценностью, что подтверждается научными трудами автора, включающими опубликованные статьи; международными докладами и патент РК на полезную модель.

По результатам исследований составлен акт о внедрении технологий получения (производства) углепластиков аэрокосмического назначения в ТОО "KazTechInnovations" (Акт внедрения).

### **Соответствие направлениям развития науки или государственным программам.**

В настоящее время углепластик широко используется в корпусах космических аппаратов благодаря своей высокой прочности и легкости. В связи с развитием отечественной космической отрасли в Казахстане в г. Астане завершается строительство Национального космического центра Республики Казахстан (НКЦ). Составной частью НКЦ занимается казахстанско-французское ТОО "Ghalam" по проектированию и производству всех видов космических аппаратов. В Казахстане планируется постепенное освоение производства комплектующих.

В Казахстане проект отечественной ракеты-носителя сверхлегкого класса для космодрома Байконур реализуется с 2021 года в АО «Национальном центре космических исследований и технологий».

По этим двум причинам по поручению отечественного Аэрокосмического комитета была взята технология производства высококачественного углепластика.

Для производства корпусов, силовых элементов, а также отдельных компонентов необходимы специальные конструкционные материалы повышенной прочности и ударной вязкости - углепластики. Углепластики высокой прочности и ударной вязкости в Казахстане не имеют производства, в связи с чем их приходится импортировать. По международному соглашению «режим контроля ракетных технологий» (договоры РКРТ) и «вассенаарским соглашениям по экспортному контролю обычного вооружения», «товаров и двойных технологий» (вассенаарским соглашениям) углепластики прочностью свыше 415 МПа включены в категории «секретные» и «сверхсекретные». Технологии углепластика данной категории запрещены к публикации и трансверту. Поэтому технологию производства высококачественного углепластика для космической техники Казахстан вынужден создавать сам.

Диссертационная работа направлена на решение одной важной части данной проблемы.

Настоящая научно-исследовательская работа связана с мероприятиями государственной программы "развитие космической деятельности в Республике Казахстан на 2015-2017 годы" и республиканской бюджетной программой 008 "разработка технологии производства ударопрочной углепластиковой продукции для оборонных и аэрокосмических приложений" прикладные научные исследования в области космической деятельности «на 2018-2020 годы».

**Личный вклад автора** заключается в проведении экспериментов, обобщении и интерпретации полученных результатов, участии в создании опытного лабораторного намоточного станка, написании статей.

#### **Описание вклада докторанта в подготовку каждой публикации.**

По результатам диссертационной работы опубликовано:

1. Смағұлова Г.М., Мейірбеков М.Н., Исмаилов М.Б., Аблакатов И.К. Эпоксид шайырын сұйық олигомерімен модификациялауды жүргізу. Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби әлемі», Алматы, 8-11 апреля 2019 г, стр.172

2. Мейірбеков М.Н., Исмаилов М.Б. Влияние каучка на механические свойства эпоксидной смолы и углепластика (Обзор) // Комплексное Использование Минерального Сырья. №1 (312).2020, Алматы, стр. 11-18, ISSN 2224-5243. DOI: 10.31643/2020/6445.02

3. Мейірбеков М.Н., Исмаилов М.Б. Механизм влияние каучука на прочность и ударную вязкость углепластика. «Наука и инновации: новости,

проблемы и достижения» Сб. материалов межд. науч-практ. конф. 2-том. – Алматы: Центр «Bilim Innovations Group», 2020. – 304 с ISBN 978-601-332-728-0

4. Meirbekov M.N., Ismailov M.B., Manko T.A. The effect of the modification of an epoxy resin by liquid oligomers on the physical-mechanical properties of composites // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. – 2020. – Vol.3. – P. 122-127. DOI: 10.32434/0321-4095-2020-130-3-122-127

5. Мейірбеков М.Н., Манько Т.А., Козис К.В. Прочностные характеристики углепластиков модифицированных пластификаторами. XXIII Міжнаодна молодіжна наукового-практична конференція «Людина і космос», Дніпро, 14-16 квітня 2021 г, стр. 137

6. Патент РК на полезную модель «Способ получения углепластика». Выдан Министерством юстиции Республики Казахстан за № 2952. Дата подачи заявки 06.01.2021, дата опубл. 23.04.2021, бюл. №6007. Авторы изобретения: Исмаилов М.Б. (РК), Мейірбеков М.Н. (РК), Жумаканова Венера Руслановна (РК), Байсериков Б.М. (РК), Аблакатов И.К. (РК).

7. Мейірбеков М.Н., Исмаилов М.Б. Проектирование и изготовление лабораторной установки по формованию углепластиковых стержней методом намотки // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Physico-Mathematical series* ISSN 1991-346x vol.6, №340 (2021), 15–27 DOI: 10.32014/2021.2518-1726.97

8. Yermakhanova AM, Sanin A.F., Meirbekov MN, Baiserikov BM. Investigation of dielectric and strength properties of composite materials. Review. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources*. 2022;322(3):89-102. <https://doi.org/10.31643/2022/6445.33>

9. Meyirbekov, MN, Ismailov, MB, Manko, TA, Kozis, KV Study of the influence of rubber on strength properties of carbon plastic// *Space Sci. & Technol*. 2022, 28 ;(5):07-07 <https://doi.org/10.15407/knit2022.05>

10. Yermakhanova AM, Baiserikov BM, Kenzhegulov AK, Meirbekov MN, Zhumadilov BY. Study on methods to improve the mechanical properties of aramid/epoxy composites. *Journal of Elastomers & Plastics*. 2023;55(2):331-346. doi:10.1177/00952443221147645